

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 05-121835

(43)Date of publication of application : 18.05.1993

(51)Int.Cl.

H01S 3/18
H01L 21/205
// H01L 21/203

(21)Application number : 03-117129

(71)Applicant : HITACHI LTD

(22)Date of filing : 22.05.1991

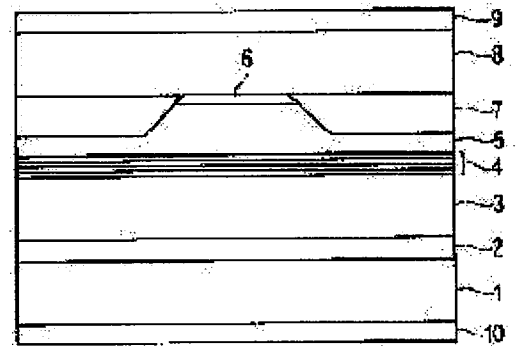
(72)Inventor : TANAKA TOSHIAKI
YANAGISAWA HIRONORI

(54) SEMICONDUCTOR LASER DEVICE AND MANUFACTURING METHOD

(57)Abstract:

PURPOSE: To provide a semiconductor laser device, along with its manufacturing method, in which a shorter oscillating wavelength is realized at low threshold operation without deteriorating laser characteristics.

CONSTITUTION: A semiconductor laser device comprises a buffer layer 2, a photo waveguide layer 3, an activated luminescent layer 4, a photo waveguide layer 5, a buffer layer 6, a current constriction and photo absorbent layer 7, and a contact layer 8, each formed on an n-type GaAs substrate 1. In the semiconductor laser device, an impurity is contained in at least one layer out of a quantum well layer and a quantum barrier layer that constitute the activated luminescent layer 4. Moreover, at least the activated luminescent layer is grown in an organic metal vapor phase growth method or a molecular beam epitaxial growth method.



* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

CLAIMS

[Claim(s)]

[Claim 1] $(\text{aluminum}_y\text{Ga}_{1-y})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y .) characterized by comprising the following a — respectively — a value of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 \leq a \leq 0.8$ — it is — a semiconductor laser element which has the double hetero-junction which sandwiched a small luminescence active layer of forbidden-band width from it on a semiconductor substrate by a lightguide with becoming big forbidden-band width.

A quantum well layer which the above-mentioned luminescence active layer turns into from a $(\text{aluminum}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_1 is a value of the range of $0 < x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

$(\text{aluminum}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) a — a value of the above-mentioned range — it is — a becoming quantum barrier layer has at least the multiple quantum well structure established repeatedly — and this quantum barrier layer — an impurity.

[Claim 2] $(\text{aluminum}_y\text{Ga}_{1-y})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y .) characterized by comprising the following a — respectively — a value of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 \leq a \leq 0.8$ — it is — a semiconductor laser element which has the double hetero-junction which sandwiched a small luminescence active layer of forbidden-band width from it on a semiconductor substrate by a lightguide with becoming big forbidden-band width.

A quantum well layer which the above-mentioned luminescence active layer turns into from a $(\text{aluminum}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_1 is a value of the range of $0 < x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

$(\text{aluminum}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) a — a value of the above-mentioned range — it is — a becoming quantum barrier layer has at least the multiple quantum well structure established repeatedly — and this quantum well layer — an impurity.

[Claim 3] $(\text{aluminum}_y\text{Ga}_{1-y})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y .) characterized by comprising the following a — respectively — a value of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 \leq a \leq 0.8$ — it is — a semiconductor laser element which has the double hetero-junction which sandwiched a small luminescence active layer of forbidden-band width from it on a semiconductor substrate by a lightguide with becoming big forbidden-band width.

A quantum well layer which the above-mentioned luminescence active layer turns into from a $(\text{aluminum}_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_1 is a value of the range of $0 < x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

$(\text{aluminum}_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) a — a value of the above-mentioned range — it is — a becoming quantum barrier layer has at least the multiple quantum well structure established repeatedly — and this quantum well layer and this quantum barrier layer — an impurity.

[Claim 4] In the semiconductor laser element according to claim 1, 2, or 3, the above-mentioned luminescence active layer, It is In_{1-a}P (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) further (aluminum $_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}$) to both sides of the above-mentioned multiple quantum well structure. x_1 is a value of the above-mentioned range here — a — a value of the above-mentioned range — it is — a semiconductor laser element having a becoming optical confinement layer.

[Claim 5] In the semiconductor laser element according to any one of claims 1 to 4, X_2 in presentation (aluminum $_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}$) In_{1-a}P of the above-mentioned quantum barrier layer, A semiconductor laser element considering it as a value of the range of $0.4 \leq X_2 \leq 0.7$.

[Claim 6] A semiconductor laser element characterized by band end energy of the above-mentioned quantum barrier layer being larger than that of the above-mentioned quantum well layer 0.2 eV or more in the semiconductor laser element according to any one of claims 1 to 5.

[Claim 7] A semiconductor laser element characterized by a range of thickness of the above-mentioned quantum barrier layer being 4–8 nm in the semiconductor laser element according to any one of claims 1 to 6.

[Claim 8] (aluminum $_y\text{Ga}_{1-y}$) In_{1-a}P (however, y .) characterized by comprising the following a — respectively — a value of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 \leq a \leq 0.8$ — it is — a semiconductor laser element which has the double hetero-junction which sandwiched a small luminescence active layer of forbidden-band width from it on a semiconductor substrate by a lightguide with becoming big forbidden-band width.

The upper part of a lightguide of the above-mentioned luminescence active layer upper part has heights of stripe shape in an emission direction of a laser beam, and both sides of these heights have a current stricture Kanemitsu absorption layer, and the above-mentioned luminescence active layer, (aluminum $_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}$) A quantum well layer which consists of In_{1-a}P (however, x_1 is a value of the range of $0 \leq x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

(aluminum $_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}$) In_{1-a}P (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) a — a value of the above-mentioned range — it is — a becoming quantum barrier layer has at least the multiple quantum well structure established repeatedly — and this quantum barrier layer — an impurity.

[Claim 9] (aluminum $_y\text{Ga}_{1-y}$) In_{1-a}P (however, y .) characterized by comprising the following a — respectively — a value of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 \leq a \leq 0.8$ — it is — a semiconductor laser element which has the double hetero-junction which sandwiched a small luminescence active layer of forbidden-band width from it on a semiconductor substrate by a lightguide with becoming big forbidden-band width.

The upper part of a lightguide of the above-mentioned luminescence active layer upper part has heights of stripe shape in an emission direction of a laser beam, and both sides of these heights have a current stricture Kanemitsu absorption layer, and the above-mentioned luminescence active layer, (aluminum $_{x_1}\text{Ga}_{1-x_1}$) A quantum well layer which consists of In_{1-a}P (however, x_1 is a value of the range of $0 \leq x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

(aluminum $_{x_2}\text{Ga}_{1-x_2}$) In_{1-a}P (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) a — a value of the above-mentioned range — it is — a becoming quantum barrier layer has at least the multiple quantum well structure established repeatedly — and this quantum well layer — an impurity.

[Claim 10] (aluminum $_y\text{Ga}_{1-y}$) In_{1-a}P (however, y .) characterized by comprising the following a — respectively — a value of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 \leq a \leq 0.8$ — it is — a semiconductor laser element which has the double hetero-junction which sandwiched a small luminescence active layer of forbidden-band width from it on a semiconductor substrate by a lightguide with becoming big forbidden-band width.

The upper part of a lightguide of the above-mentioned luminescence active layer upper part has heights of stripe shape in an emission direction of a laser beam, and both sides of these heights have a current stricture Kanemitsu absorption layer, and the above-mentioned luminescence active layer,

(aluminum_{x1}Ga_{1-x1}) A quantum well layer which consists of $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_1 is a value of the range of $0 < x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

(aluminum_{x2}Ga_{1-x2}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) a — a value of the above-mentioned range — it is — a becoming quantum barrier layer has at least the multiple quantum well structure established repeatedly — and this quantum well layer and this quantum barrier layer — an impurity.

[Claim 11] In the semiconductor laser element according to claim 8, 9, or 10, the above-mentioned luminescence active layer, It is $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) further (aluminum_{x2}Ga_{1-x2}) to both sides of the above-mentioned multiple quantum well structure. x_1 is a value of the above-mentioned range here — a — a value of the above-mentioned range — it is — a semiconductor laser element having a becoming optical confinement layer.

[Claim 12] In the semiconductor laser element according to any one of claims 8 to 11, A semiconductor laser element, wherein X_2 in presentation (aluminum_{x2}Ga_{1-x2}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ of the above-mentioned quantum barrier layer considers it as a value of the range of $0.4 < X_2 < 0.7$.

[Claim 13] A semiconductor laser element characterized by band end energy of the above-mentioned quantum barrier layer being larger than that of the above-mentioned quantum well layer 0.2 eV or more in the semiconductor laser element according to any one of claims 8 to 12.

[Claim 14] A semiconductor laser element characterized by a range of thickness of the above-mentioned quantum barrier layer being 4–8 nm in the semiconductor laser element according to any one of claims 8 to 13.

[Claim 15] A process of forming a lightguide which consists of $a(\text{aluminum}_y\text{Ga}_{1-y})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 < a \leq 0.8$, respectively) on a semiconductor substrate. (aluminum_{x1}Ga_{1-x1}) A quantum well layer which consists of $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_1 is a value of the range of $0 < x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

(aluminum_{x2}Ga_{1-x2}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) a — a value of the above-mentioned range — it is — a process of forming multiple quantum well structure which repeats and provides a becoming quantum barrier layer and constitutes a luminescence active layer.

(aluminum_yGa_{1-y}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the above-mentioned range, respectively).

It is a manufacturing method of a semiconductor laser element provided with the above, and the above-mentioned quantum well layer and the above-mentioned quantum barrier layer are formed by metal-organic chemical vapor deposition, and an impurity is doped to the above-mentioned quantum barrier layer.

[Claim 16] A process of forming a lightguide which consists of $a(\text{aluminum}_y\text{Ga}_{1-y})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 < a \leq 0.8$, respectively) on a semiconductor substrate. (aluminum_{x1}Ga_{1-x1}) A quantum well layer which consists of $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_1 is a value of the range of $0 < x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

(aluminum_{x2}Ga_{1-x2}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) a — a value of the above-mentioned range — it is — a process of forming multiple quantum well structure which repeats and provides a becoming quantum barrier layer and constitutes a luminescence active layer.

(aluminum_yGa_{1-y}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the above-mentioned range, respectively).

It is a manufacturing method of a semiconductor laser element provided with the above, and the above-mentioned quantum well layer and the above-mentioned quantum barrier layer are formed by metal-organic chemical vapor deposition, and an impurity is doped to the above-mentioned quantum well layer.

[Claim 17] A process of forming a lightguide which consists of $a(\text{aluminum}_y\text{Ga}_{1-y})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 < a \leq 0.8$, respectively) on a semiconductor substrate.

(aluminum_{x1}Ga_{1-x1}) A quantum well layer which consists of $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_1 is a value of the range of $0 < x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

(aluminum_{x2}Ga_{1-x2}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) a — a value of the above-mentioned range — it is — a process of forming multiple quantum well structure which repeats and provides a becoming quantum barrier layer and constitutes a luminescence active layer.

(aluminum_yGa_{1-y}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the above-mentioned range, respectively).

It is a manufacturing method of a semiconductor laser element provided with the above, and the above-mentioned quantum well layer and the above-mentioned quantum barrier layer are formed by metal-organic chemical vapor deposition, and an impurity is doped to the above-mentioned quantum well layer and the above-mentioned quantum barrier layer.

[Claim 18] A manufacturing method of a semiconductor laser element performing the above-mentioned metal-organic chemical vapor deposition in the range with a growing temperature of 650–750 ** in a manufacturing method of the semiconductor laser element according to claim 15, 16, or 17.

[Claim 19] A process of forming a lightguide which consists of $a(\text{aluminum}_y\text{Ga}_{1-y})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 \leq a \leq 0.8$, respectively) on a semiconductor substrate.

(aluminum_{x1}Ga_{1-x1}) A quantum well layer which consists of $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_1 is a value of the range of $0 < x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

(aluminum_{x2}Ga_{1-x2}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) a — a value of the above-mentioned range — it is — a process of forming multiple quantum well structure which repeats and provides a becoming quantum barrier layer and constitutes a luminescence active layer.

(aluminum_yGa_{1-y}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the above-mentioned range, respectively).

It is a manufacturing method of a semiconductor laser element provided with the above, and the above-mentioned quantum well layer and the above-mentioned quantum barrier layer are formed with molecular beam epitaxy method, and an impurity is doped to the above-mentioned quantum barrier layer.

[Claim 20] A process of forming a lightguide which consists of $a(\text{aluminum}_y\text{Ga}_{1-y})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 \leq a \leq 0.8$, respectively) on a semiconductor substrate.

(aluminum_{x1}Ga_{1-x1}) A quantum well layer which consists of $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_1 is a value of the range of $0 < x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

(aluminum_{x2}Ga_{1-x2}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and) a — a value of the above-mentioned range — it is — a process of forming multiple quantum well structure which repeats and provides a becoming quantum barrier layer and constitutes a luminescence active layer.

(aluminum_yGa_{1-y}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the above-mentioned range, respectively).

It is a manufacturing method of a semiconductor laser element provided with the above, and the above-mentioned quantum well layer and the above-mentioned quantum barrier layer are formed with molecular beam epitaxy method, and an impurity is doped to the above-mentioned quantum well layer.

[Claim 21] A process of forming a lightguide which consists of $a(\text{aluminum}_y\text{Ga}_{1-y})\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the range of $0 < y \leq 1$ and $0.3 \leq a \leq 0.8$, respectively) on a semiconductor substrate.

(aluminum_{x1}Ga_{1-x1}) A quantum well layer which consists of $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_1 is a value of the range of $0 < x_1 < y$, and a is a value of the above-mentioned range).

(aluminum_{x2}Ga_{1-x2}) A process of forming multiple quantum well structure which repeats and provides a quantum barrier layer which consists of $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, x_2 is a value of the range of $x_1 < x_2 < y$ and a is a value of the above-mentioned range), and constitutes a luminescence active layer.

(aluminum_yGa_{1-y}) $a\text{In}_{1-a}\text{P}$ (however, y and a are the values of the above-mentioned range, respectively).

It is a manufacturing method of a semiconductor laser element provided with the above, and the above-mentioned quantum well layer and the above-mentioned quantum barrier layer are formed with molecular

beam epitaxy method, and an impurity is doped to the above-mentioned quantum well layer and the above-mentioned quantum barrier layer.

[Claim 22] A manufacturing method of a semiconductor laser element performing the above-mentioned molecular beam epitaxy method in the range with a growing temperature of 500–600 °C in a manufacturing method of the semiconductor laser element according to claim 19, 20, or 21.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DETAILED DESCRIPTION

[Detailed Description of the Invention]

[0001]

[Industrial Application]This invention relates to a short wavelength visible semiconductor laser element suitable for a light information terminal, the light source for optical application measurement, etc., and a manufacturing method for the same.

[0002]

[Description of the Prior Art]The conventional semiconductor laser element had a double hetero structure using the bulk AlGaInP by which the impurity was doped as stated, for example to JP,63-124592,A as a luminescence active layer, and about 20-nm short wavelength formation of the laser oscillation wavelength was carried out by doping of this impurity.

[0003]On the other hand, it is applied. Physics To a letter, and the 50th volume 1033 pages (1987) (Appl.Phys.Lett., Vol20., pp1033 (1987)), the semiconductor laser element which makes a luminescence active layer quantum well structure is indicated.

[0004]

[Problem(s) to be Solved by the Invention]In order to bring about increase of a defect, and decline in luminous efficiency in order that the above-mentioned conventional technology may dope a high-concentration impurity to an active region, and to increase the optical loss by a free carrier, there was a problem of having raised the threshold current of an element or reducing reliability. It was not clear about the impurity concentration level which does not spoil a laser characteristic. Impurity doping when the luminescence active layer was made into quantum well structure was not described, and it was not clarified about the design about the quantum well structure for obtaining a short-wavelength-laser oscillation.

[0005]The purpose of this invention is to provide the semiconductor laser element which carried out laser oscillation with short wavelength, and operated by low threshold current, and introduced quantum well structure into the luminescence active layer.

[0006]Other purposes of this invention are to provide the manufacturing method of such a semiconductor laser element.

[0007]

*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

MEANS

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1. This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
2. **** shows the word which can not be translated.
3. In the drawings, any words are not translated.

OPERATION

[Function] 4. A $\text{Al}_{1-y}\text{Ga}_y\text{In}_{1-a}\text{P}$ mix crystal which grew the operation of this invention epitaxially on the GaAs substrate is explained as an example. The value of a for carrying out lattice matching of this mix crystal to a substrate is 0.51. Now, the order arraying structure of group III elements has arisen, and a $(\text{AlGa})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ mix crystal has small bandgap energy. In this invention, bandgap energy of an active layer is enlarged by controlling the order arraying structure of the group III elements in a $(\text{AlGa})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ mix crystal by impurity doping.

[0015] for example, Japanese Journal of Applied Physics and the 28th — as shown in volume (1989) L2092 page–L2094 page (Jpn J. Appl. Phys., 28(1989)L2092–L2094), [however,] It is known that luminescence intensity may decrease by impurity doping. This is considered to be because for a defect to be increased in an AlGaInP mix crystal by impurity doping and for luminous efficiency to fall. For this reason, threshold current may be increased although short wavelength formation of the laser oscillation wavelength can be carried out by doping an impurity to a luminescence active layer.

[0016] especially a desirable structure of this invention — multiple quantum well structure **** — it is the structure which became irregular only to the quantum barrier layer without doping an impurity to the quantum well layer from which a profit is acquired, and doped the impurity. It can expect to be able to increase the barrier energy of a quantum barrier layer and to carry out laser oscillation with short wavelength more, without reducing by this the luminous efficiency of the quantum well layer which is an active region.

[0017] For example, photoluminescence peak wavelength and the relation of GaInP quantum well layer thickness are shown in drawing 2, and are explained. As opposed to peak wavelength being 665 nm (** seal of a figure) in the conventional undoped GaInP bulk active layer grown up by metal–organic chemical vapor deposition, In undoped multiple quantum well structure (undoping $(\text{aluminum}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ quantum barrier layer of the undoped GaInP quantum well layer of 3 nm of thickness, and 4 nm of thickness), it is 626 nm (O seal of a figure). When a p type impurity was doped to a quantum barrier layer by the multiplex quantum well active layer of the same thickness, it was 620 nm (– seal of a figure).

These values the peak wavelength in the case of being a case where a $(\text{aluminum}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ quantum barrier layer is order arraying structure, and disorderly arraying structure, It was well in agreement with the case of 3 nm of thickness of the calculated value (a dotted line and a solid line show to a figure, respectively) computed using bandgap energy 570nm and 551 nm, respectively.

[0018] When an impurity is doped to a $(\text{aluminum}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ quantum barrier layer here, barrier energy, It was equivalent to the bandgap energy of the $(\text{aluminum}_{0.65}\text{Ga}_{0.35})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ layer of Al

composition 0.65 in the case of being undoped. This shows that a short–wavelength–laser oscillation is possible by the impurity abnormal–conditions dope to a quantum barrier layer. In this invention, when the abnormal–conditions dope of the impurity was carried out at a quantum barrier layer, the laser oscillation wavelength of 630–635 nm was obtained, and the oscillation wavelength shorter 5–6 nm than the undoped time has been realized. Since a profit would be acquired by the career of the quantum barrier layer which carried out the impurity dope further, without bringing about increase of a defect, and decline in luminous efficiency when not having doped the impurity to a quantum well layer, increase of

differential gain and low threshold operation have been attained.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.*** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

EXAMPLE

[Example]The sectional view of the semiconductor laser element of one example of example 1 this invention is shown in drawing 1, and the manufacturing method is explained. By the metal-organic chemical vapor deposition explained in full detail behind, it is n type GaAs buffer layer 2 (0.5 micrometer in thickness.) on the n type GaAs substrate 1. Concentration-of-electrons $n_D=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$, The n type (aluminum_{0.7}Ga_{0.3})_{0.51}In_{0.49}P lightguide 3 (1.5-micrometer [in thickness] and concentration-of-electrons $n_D=1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) and the luminescence active layer 4 are grown epitaxially. The luminescence active layer 4 is a structure shown below. Namely, this layer, (aluminum_{0.5}Ga_{0.5})_{0.51}In_{0.49}P of 4 nm of thickness which doped ten layers of undoped Ga_{0.51}In_{0.49}P quantum well layers of 3 nm of thickness, and p type impurity Zn (hole concentration $n_A=6 - 9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$). It is the multiple quantum well structure by which nine layers of quantum barrier layers were provided by turns, and the (aluminum_{0.5}Ga_{0.5})_{0.51}In_{0.49}P optical confinement layer of 15 nm of thickness was provided in the both sides.

[0020]Next, the p type (aluminum_{0.7}Ga_{0.3})_{0.51}In_{0.49}P lightguide 5 (1.2 micrometers in thickness.) The hole concentration $n_A=5 - 7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ and p type Ga_{0.51}In_{0.49}P buffer layer 6 (0.05-micrometer [in thickness] and hole concentration $n_A=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) is grown epitaxially similarly.

[0021]Next, a SiO₂ mask (thickness of 0.2 micrometer, stripe width of 5 micrometers) is formed by photo lithography, etching removal of the buffer layer 6 and the lightguide 5 is carried out till the place which leaves 0.2 micrometer of lightguides 5 by chemical etching, and a ridge stripe is formed.

[0022]Next, selective growth of the n type GaAs current stricture Kanemitsu absorption layer 7 (1.0-micrometer [in thickness] and concentration-of-electrons $n_D=2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) is carried out, with a SiO₂ mask left. After embedding p type GaAs contact layer 8 (the concentration of electrons of 1-micrometer [in thickness] and concentration-of-electrons $n_A=5 \times 10^{18} - 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$, and the upper part is high) and growing up it, the p electrode 9 and the n electrode 10 are vapor-deposited. A cleavage scribe is carried out, it starts in the form of an element, and a laser device is obtained.

[0023]Metal-organic chemical vapor deposition was performed by the growing temperature of 700 **, and pressure 70Torr as trimethylgallium and a raw material of In as trimethylaluminum and a raw material of Ga as a raw material of aluminum, using phosphine as trimethylindium and a raw material of P. Dimethyl zinc was used for the quantum barrier layer as a raw material which carries out the abnormal-conditions dope of the Zn which is a p type impurity.

[0024]The band end energy of the quantum barrier layer in the above-mentioned multiple quantum well structure is higher than that of a quantum well layer 0.42 eV. In the room temperature, threshold current operated at 40-50 mA, and the laser device of this example was 630-635 nm in the laser oscillation wavelength. In the element which does not dope an impurity to a quantum barrier layer, since the threshold current in a room temperature was 60-70 mA and the laser oscillation wavelength was 636-640 nm, this invention has realized low threshold current operation and short wavelength formation of the oscillation wavelength.

[0025]The portion of the multiple quantum well structure which constitutes the example [of two shots] photoactive layer 4 was replaced with as follows, and also the laser device was manufactured like Example 1. that is, Multiple quantum well structure. P type impurity Zn. A dope. (Hole concentration $n_A = 6 - 9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) Ten layers of $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ quantum well layers of 3 nm of thickness and nine layers of undoping (aluminum_{0.5}Ga_{0.5})_{0.51} $\text{In}_{0.49}\text{P}$ quantum barrier layers of 4 nm of thickness which were carried out. It was considered as the structure where it was provided in ***** and the (aluminum_{0.5}Ga_{0.5})

{0.51} $\text{In}{0.49}\text{P}$ optical confinement layer of 15 nm of thickness was provided in the both sides.

[0026]The band end energy of the quantum barrier layer in this multiple quantum well structure is higher than that of a quantum well layer 0.33 eV. In the room temperature, threshold current operated at 60–70 mA, and the laser device of this example was 630–635 nm in the laser oscillation wavelength. From the element which does not dope an impurity, the laser oscillation wavelength was able to carry out about 5–10-nm short wavelength formation.

[0027]The portion of the multiple quantum well structure which constitutes the example [of three shots] photoactive layer 4 was replaced with as follows, and also the laser device was manufactured like Example 1. Namely, multiple quantum well structure is provided in ten layers of $\text{Ga}_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ quantum well layers of 3 nm of thickness, and nine layers of (aluminum_{0.5}Ga_{0.5})_{0.51} $\text{In}_{0.49}\text{P}$ quantum barrier layers of 4 nm of thickness by turns, P type impurity Zn was doped in all the layers of the structure where the (aluminum_{0.5}Ga_{0.5})_{0.51} $\text{In}_{0.49}\text{P}$ optical confinement layer of 15 nm of thickness was provided in the both sides (hole concentration $n_A = 6 - 9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$).

[0028]The band end energy of the quantum barrier layer in this multiple quantum well structure is higher than that of a quantum well layer 0.36 eV. In the room temperature, threshold current operated at 60–80 mA, and the laser device of this example was 625–630 nm in the laser oscillation wavelength. From the element which does not dope an impurity, the laser oscillation wavelength was able to carry out about 10–15-nm short wavelength formation.

[0029]In the above example, each class grown up by metal–organic chemical vapor deposition was grown up with molecular beam epitaxy method, respectively, and the laser device was manufactured similarly. In this case, it carried out by the growing temperature of 550 **, and 10^{-5} Torr, using the phosphine as aluminum, Ga, In, and a raw material of P as a raw material. Each of each manufactured laser devices showed the same effect as each laser device manufactured by metal–organic chemical vapor deposition.

[0030]Whether replace with this and it uses Mg and Be, although Zn was used for the above example as an impurity doped to a luminescence active layer, or it used Si of a n type impurity, and Se, the almost same result was obtained.

[Translation done.]

* NOTICES *

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.

2.**** shows the word which can not be translated.

3.In the drawings, any words are not translated.

EFFECT OF THE INVENTION

[Effect of the [Invention]or [carrying out the abnormal-conditions dope of the impurity at a quantum barrier layer or a quantum well layer according to this invention] -- or the thing which multiple quantum well structure boils all and is doped -- the laser device oscillated more with short wavelength has been realized.

[0032]Since barrier energy of the quantum barrier layer was enlarged by carrying out the abnormal-conditions dope especially of the impurity at a quantum barrier layer, quantum level energy increased and the laser device oscillated more with short wavelength has been realized. Since the profit was acquired by the career in the quantum barrier layer which carried out the impurity dope, without causing increase of a defect, and decline in luminous efficiency when not doping an impurity to a quantum well layer, the laser device which operates by low threshold current was obtained.

[0033]Remarkable degradation was not seen even if the laser device of this invention passed for about 2000 hours in the life test of the temperature of 50 **, and 3-mW constant optical power operation.

[Translation done.]

*** NOTICES ***

JPO and INPIT are not responsible for any damages caused by the use of this translation.

- 1.This document has been translated by computer. So the translation may not reflect the original precisely.
- 2.**** shows the word which can not be translated.
- 3.In the drawings, any words are not translated.

DESCRIPTION OF DRAWINGS

[Brief Description of the Drawings]

[Drawing 1]It is a section structure figure of the semiconductor laser element of one example of this invention.

[Drawing 2]It is a figure showing photoluminescence peak wavelength and the relation of quantum well layer thickness.

[Description of Notations]

- 1 N type GaAs substrate
- 2, 6 buffer layers
- 3 Lightguide
- 4 Luminescence active layer
- 5 Lightguide
- 7 Current stricture Kanemitsu absorption layer
- 8 Contact layer
- 9 p electrode
- 10 n electrode

[Translation done.]

(51)Int.Cl. ⁵	識別記号	庁内整理番号	F I	技術表示箇所
H 0 1 S 3/18		9170-4M		
H 0 1 L 21/205		7454-4M		
// H 0 1 L 21/203	M	8422-4M		

審査請求 未請求 請求項の数22(全 10 頁)

(21)出願番号	特願平3-117129	(71)出願人	000005108 株式会社日立製作所 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地
(22)出願日	平成3年(1991)5月22日	(72)発明者	田中 俊明 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内
		(72)発明者	柳沢 浩徳 東京都国分寺市東恋ヶ窪1丁目280番地 株式会社日立製作所中央研究所内
		(74)代理人	弁理士 薄田 利幸 (外1名)

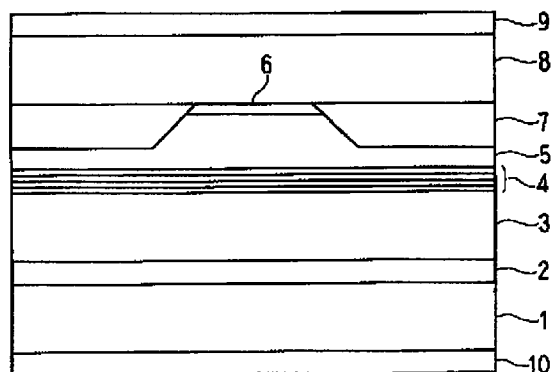
(54)【発明の名称】 半導体レーザ素子及びその製造方法

(57)【要約】

【目的】レーザ特性を損わずに低閾値動作でより短い発振波長を実現する半導体レーザ素子及びその製造方法を提供すること。

【構成】n型GaAs基板1上に、バッファ層2、光導波層3、発光活性層4、光導波層5、バッファ層6、電流狭窄兼光吸収層7、コンタクト層8を有するレーザ素子であり、発光活性層4を構成する量子井戸層と量子障壁層の少なくとも1方の層に不純物を含有させる。このレーザ素子の少なくとも発光活性層は有機金属気相成長法か分子線エピタキシー法によりエピタキシャル成長させて形成する。

図1



- 1---n 型GaAs 基板
- 2,6---バッファ層
- 3---光導波層
- 4---発光活性層
- 5---光導波層
- 7---電流狭窄兼光吸収層
- 8---コンタクト層
- 9---p 電極
- 10---n 電極

【特許請求の範囲】

【請求項1】 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}In_xP$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層は、 $(Al_{x_1}Ga_{1-x_1})_{1-x}In_xP$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{x_2}Ga_{1-x_2})_{1-x}In_xP$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子障壁層に不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項2】 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}In_xP$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層は、 $(Al_{x_1}Ga_{1-x_1})_{1-x}In_xP$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{x_2}Ga_{1-x_2})_{1-x}In_xP$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子井戸層に不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項3】 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}In_xP$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層は、 $(Al_{x_1}Ga_{1-x_1})_{1-x}In_xP$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{x_2}Ga_{1-x_2})_{1-x}In_xP$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子井戸層と該量子障壁層とに不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項4】 請求項1、2又は3記載の半導体レーザ素子において、上記発光活性層は、上記多重量子井戸構造の両側にさらに $(Al_{x_2}Ga_{1-x_2})_{1-x}In_xP$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、ここに x_1 は上記の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる光閉じ込め層を有することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項5】 請求項1から4のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層の組成 $(Al_{x_2}Ga_{1-x_2})_{1-x}In_xP$ における X_2 は、 $0.4 \leq X_2 \leq$

0.7の範囲の値とすることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項6】 請求項1から5のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層のバンド端エネルギーは、上記量子井戸層のそれよりも0.2eV以上大きいことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項7】 請求項1から6のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層の膜厚は、4～8nmの範囲であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項8】 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}In_xP$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層の上側の光導波層の上部は、レーザ光の出射方向にストライプ状の凸部を有し、該凸部の両側は電流狭窄兼光吸収層を有し、上記発光活性層は、 $(Al_{x_1}Ga_{1-x_1})_{1-x}In_xP$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{x_2}Ga_{1-x_2})_{1-x}In_xP$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子障壁層に不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項9】 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}In_xP$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層の上側の光導波層の上部は、レーザ光の出射方向にストライプ状の凸部を有し、該凸部の両側は電流狭窄兼光吸収層を有し、上記発光活性層は、 $(Al_{x_1}Ga_{1-x_1})_{1-x}In_xP$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{x_2}Ga_{1-x_2})_{1-x}In_xP$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子井戸層に不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項10】 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}In_xP$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層の上側の光導波層の上部は、レーザ光の出射方向にストライプ状の凸部を有し、該凸部の両側は電流狭窄兼光吸収層を有し、上記発光活性層

10

20

30

40

50

は、 $(Al_{1-x}Ga_{1-x})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子井戸層と該量子障壁層とに不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項11】請求項8、9又は10記載の半導体レーザ素子において、上記発光活性層は、上記多重量子井戸構造の両側にさらに $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、ここに x_1 は上記の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる光閉じ込め層を有することを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項12】請求項8から11のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層の組成 $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-y}In_{1-y}P$ における X_2 は、 $0.4 \leq X_2 \leq 0.7$ の範囲の値とすることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項13】請求項8から12のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層のバンド端エネルギーは、上記量子井戸層のそれよりも 0.2 eV 以上大きいことを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項14】請求項8から13のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層の膜厚は、 $4 \sim 8\text{ nm}$ の範囲であることを特徴とする半導体レーザ素子。

【請求項15】半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし y 、 a はそれぞれ $0 < y \leq 1$ 、 $0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし y 、 a はそれぞれ上記の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、有機金属気相成長法により形成し、かつ上記量子障壁層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項16】半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし y 、 a はそれぞれ $0 < y \leq 1$ 、 $0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし y 、 a はそれぞれ上記の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、分子線エピタキシー法により形成し、かつ上記量子障壁層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

$(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし y 、 a はそれぞれ上記の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、有機金属気相成長法により形成し、かつ上記量子井戸層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項17】半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし y 、 a はそれぞれ $0 < y \leq 1$ 、 $0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし y 、 a はそれぞれ上記の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、有機金属気相成長法により形成し、かつ上記量子井戸層及び上記量子障壁層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項18】請求項15、16又は17記載の半導体レーザ素子の製造方法において、上記有機金属気相成長法は、成長温度 $650 \sim 750^\circ\text{C}$ の範囲で行うことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項19】半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし y 、 a はそれぞれ $0 < y \leq 1$ 、 $0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし y 、 a はそれぞれ上記の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、分子線エピタキシー法により形成し、かつ上記量子障壁層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項20】半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし y 、 a はそれぞれ $0 < y \leq 1$ 、 $0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-y}In_{1-y}P$ (ただし

x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-z}Ga_{1-z})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ上記の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、分子線エピタキシー法により形成し、かつ上記量子井戸層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項21】半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ上記の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、分子線エピタキシー法により形成し、かつ上記量子井戸層及び上記量子障壁層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【請求項22】請求項19、20又は21記載の半導体レーザ素子の製造方法において、上記分子線エピタキシー法は、成長温度 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ の範囲で行うことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【産業上の利用分野】本発明は、光情報端末や光応用計測用の光源等に適した短波長可視半導体レーザ素子及びその製造方法に関する。

【0002】

【従来の技術】従来の半導体レーザ素子は、例えば特開昭63-124592に述べられているように、不純物がドーピングされたバルク $AlGaInP$ を発光活性層として用いたダブルヘテロ構造を持ち、この不純物のドーピングによって、レーザ発振波長は約 20nm 短波長化していた。

【0003】一方、アプライド フィジックス レター、第50巻1033頁(1987)(Appl. Phys. Lett., Vol 20., pp 1033 (1987))には発光活性層を量子井戸構造とする半導体レーザ素子が記載されている。

【0004】

【発明が解決しようとする課題】上記従来技術は、活性領域に高濃度の不純物をドーピングするために欠陥の増大や発光効率の低下をもたらし、また自由キャリアによる光損失を増大させるため、素子の閾値電流を上昇させたり信頼性を低下させるという問題があった。また、レーザ特性を損わない不純物濃度レベルについて明らかでなかった。さらに、発光活性層を量子井戸構造としたときの不純物ドーピングについては述べられておらず、短波長レーザ発振を得るための量子井戸構造に関する設計については明らかにされていなかった。

【0005】本発明の目的は、短波長でレーザ発振し、低閾値電流で動作し、かつ発光活性層に量子井戸構造を導入した半導体レーザ素子を提供することにある。

【0006】本発明の他の目的は、そのような半導体レーザ素子の製造方法を提供することにある。

【0007】

【課題を解決するための手段】上記目的は、(1) $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である)よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層は、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子障壁層に不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子、(2) $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である)よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層は、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子井戸層に不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子、(3) $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である)よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層は、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層と、 $(Al_{1-x_3}Ga_{1-x_3})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_3 は $x_2 < x_3 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層とを繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子井戸層に不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子、(4) $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-x_2}Ga_{1-x_2})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ上記の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、分子線エピタキシー法により形成し、かつ上記量子井戸層及び上記量子障壁層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法。

$I n_{1-a} P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子井戸層と該量子障壁層とに不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子、(4) 上記1、2又は3記載の半導体レーザ素子において、上記発光活性層は、上記多重量子井戸構造の両側にさらに $(Al_{1-z}Ga_{1-z})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、ここに x_1 は上記の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる光閉じ込め層を有することを特徴とする半導体レーザ素子、(5) 上記1から4のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層の組成 $(Al_{1-z}Ga_{1-z})_{1-n_1-a}P$ における X_2 は、 $0.4 \leq X_2 \leq 0.7$ の範囲の値とすることを特徴とする半導体レーザ素子、(6) 上記1から5のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層のバンド端エネルギーは、上記量子井戸層のそれよりも 0.2 eV 以上大きいことを特徴とする半導体レーザ素子、(7) 上記1から6のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層の膜厚は、 $4 \sim 8 \text{ nm}$ の範囲であることを特徴とする半導体レーザ素子、(8) $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層の上側の光導波層の上部は、レーザ光の出射方向にストライプ状の凸部を有し、該凸部の両側は電流狭窄兼光吸収層を有し、上記発光活性層は、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-z}Ga_{1-z})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子障壁層に不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子、(9) $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層の上側の光導波層の上部は、レーザ光の出射方向にストライプ状の凸部を有し、該凸部の両側は電流狭窄兼光吸収層を有し、上記発光活性層は、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-z}Ga_{1-z})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、

かつ該量子井戸層に不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子、(10) $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる禁制帯幅の大きな光導波層により、それより禁制帯幅の小さい発光活性層を挟んだダブルヘテロ接合を半導体基板上に有する半導体レーザ素子において、上記発光活性層の上側の光導波層の上部は、レーザ光の出射方向にストライプ状の凸部を有し、該凸部の両側は電流狭窄兼光吸収層を有し、上記発光活性層は、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-z}Ga_{1-z})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とが繰り返し設けられた多重量子井戸構造を少なくとも有し、かつ該量子井戸層と該量子障壁層とに不純物を有することを特徴とする半導体レーザ素子、(11) 上記8、9又は10記載の半導体レーザ素子において、上記発光活性層は、上記多重量子井戸構造の両側にさらに $(Al_{1-z}Ga_{1-z})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、ここに x_1 は上記の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる光閉じ込め層を有することを特徴とする半導体レーザ素子、(12) 上記8から11のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層の組成 $(Al_{1-z}Ga_{1-z})_{1-n_1-a}P$ における X_2 は、 $0.4 \leq X_2 \leq 0.7$ の範囲の値とすることを特徴とする半導体レーザ素子、(13) 上記8から12のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層のバンド端エネルギーは、上記量子井戸層のそれよりも 0.2 eV 以上大きいことを特徴とする半導体レーザ素子、(14) 上記8から13のいずれかに記載の半導体レーザ素子において、上記量子障壁層の膜厚は、 $4 \sim 8 \text{ nm}$ の範囲であることを特徴とする半導体レーザ素子によって達成される。

【0008】上記他の目的は、(15) 半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{1-x_1}Ga_{1-x_1})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子井戸層と、 $(Al_{1-z}Ga_{1-z})_{1-n_1-a}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である) よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-n_1-a}P$ (ただし y, a はそれぞれ上記の範囲の値である) よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、有機金属気相成長法により形成し、かつ上記量子障壁層に不純物を

ドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法、(16)半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{1-x}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子井戸層と、 $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{1-x}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}P$ (ただし y, a はそれぞれ上記の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、有機金属気相成長法により形成し、かつ上記量子井戸層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法、(17)半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{1-x}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子井戸層と、 $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{1-x}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}P$ (ただし y, a はそれぞれ上記の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、有機金属気相成長法により形成し、かつ上記量子井戸層及び上記量子障壁層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法、(18)上記15、16又は17記載の半導体レーザ素子の製造方法において、上記有機金属気相成長法は、成長温度 $650 \sim 750^\circ\text{C}$ の範囲で行うことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法、(19)半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{1-x}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子井戸層と、 $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{1-x}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}P$ (ただし y, a はそれぞれ上記の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、分子線エピタキシー法により形成し、かつ上

記量子障壁層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法、(20)半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{1-x}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子井戸層と、 $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{1-x}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}P$ (ただし y, a はそれぞれ上記の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、分子線エピタキシー法により形成し、かつ上記量子井戸層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法、(21)半導体基板上に、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}P$ (ただし y, a はそれぞれ $0 < y \leq 1, 0.3 \leq a \leq 0.8$ の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程と、 $(Al_{x1}Ga_{1-x1})_{1-x}P$ (ただし x_1 は $0 \leq x_1 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子井戸層と、 $(Al_{x2}Ga_{1-x2})_{1-x}P$ (ただし x_2 は $x_1 < x_2 < y$ の範囲の値であり、 a は上記の範囲の値である)よりなる量子障壁層とを繰り返し設け、発光活性層を構成する多重量子井戸構造を形成する工程と、 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}P$ (ただし y, a はそれぞれ上記の範囲の値である)よりなる光導波層を形成する工程とを少なくとも有する半導体レーザ素子の製造方法において、上記量子井戸層及び上記量子障壁層は、分子線エピタキシー法により形成し、かつ上記量子井戸層及び上記量子障壁層に不純物をドーピングすることを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法、(22)上記19、20又は21記載の半導体レーザ素子の製造方法において、上記分子線エピタキシー法は、成長温度 $500 \sim 600^\circ\text{C}$ の範囲で行うことを特徴とする半導体レーザ素子の製造方法によって達成される。

【0009】本発明の半導体レーザ素子の各層の材料の組成 $(Al_yGa_{1-y})_{1-x}P$ における a の値は、 0.3 から 0.8 の範囲の値で用いることができるが、各層の格子定数が基板の格子定数と整合する構造となるように a の値を定めることが好ましい。例えば基板としてGaAs基板を用いるときは、 a を 0.51 とすることが好ましく、また基板としてGaAsP基板を用いるときは、 a を 0.7 とすることが好ましい。

【0010】発光活性層にドーピングする不純物種としては、p型の不純物種はZn、Mg又はBeが好ましく、n型の不純物種はSi又はSeが好ましい。これらの不純物の濃度は、Znの場合は $5 \times 10^{17} \sim 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲、Mgの場合は最大 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範

11

囲、Beの場合は最大 $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ の範囲、Siの場合は $5 \times 10^{17} \sim 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲、Seの場合は最大 $5 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$ の範囲とすることが好ましい。

【0011】本発明の半導体レーザ素子の各層、特に発光活性層は、有機金属気相成長法か分子線エピタキシー法によりエピタキシャル成長させて形成することが好ましい。有機金属気相成長法は、Alの原料として有機アルミニウム化合物、例えばトリメチルアルミニウム等のアルキルアルミニウム化合物、Gaの原料として有機ガリウム化合物、例えばトリメチルガリウム等のアルキルガリウム化合物、Inの原料として有機インジウム化合物、例えばトリメチルインジウム等のアルキルインジウム化合物、Pの原料としてホスフィンを用い、成長温度 $650^\circ\text{C} \sim 750^\circ\text{C}$ 、定圧又は $50 \text{ Torr} \sim 100 \text{ Torr}$ の減圧で行うことが好ましい。圧力が減圧のときは $70 \text{ Torr} \sim 80 \text{ Torr}$ で行うことがより好ましい。

【0012】また、発光活性層にドーピングするp型不純物としてZnを用いるときは有機亜鉛化合物、例えばジメチル亜鉛等のアルキル亜鉛化合物を、Mgを用いるときは有機マグネシウム化合物、例えばジメチルマグネシウム等のアルキルマグネシウム化合物を、Beを用いるときは有機ベリリウム化合物、例えばジメチルベリリウム等のアルキルベリリウム化合物を原料に加える。また、n型不純物としてSi、Seを用いるときはそれぞれホスフィン、セレン化水素を原料に加える。

【0013】分子線エピタキシー法は、原料としてAl、Ga、Inと、Pの原料としてのホスフィン又はPを用い、成長温度 $500^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ で行うことが好ましい。圧力は、Pの原料としてPを用いるときは $10^{10} \text{ Torr} \sim 10^{11} \text{ Torr}$ で行うことが好ましく、Pの原料としてホスフィンを用いるときは 10^{10} Torr で行うことが好ましい。

【0014】

【作用】本発明の作用を、GaAs基板上にエピタキシャル成長させた4元混晶($\text{Al}_x\text{Ga}_{1-x}$) $\text{In}_{1-y}\text{P}_y$ を例として説明する。この混晶を基板と格子整合させるためのaの値は0.51である。さて、 $(\text{AlGa})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ 混晶はIII族元素の秩序配列構造が生じており、バンドギャップエネルギーが小さい。本発明では、 $(\text{AlGa})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ 混晶中におけるIII族元素の秩序配列構造を不純物ドーピングにより抑制することにより、活性層のバンドギャップエネルギーを大きくする。

【0015】しかしながら、例えばジャパニーズ・ジャーナル・オブ・アプライド・フィジクス、第28巻(1989) L2092頁-L2094頁(Jpn. J. Appl. Phys., 28 (1989) L2092-L2094)に示されているように、不純物ドーピングに

12

より発光強度が減少する場合があることが知られている。これは、不純物ドーピングによりAlGaInP混晶において欠陥を増大させ発光効率が低下することによって考えられる。このため、発光活性層に不純物をドーピングすることによりレーザ発振波長を短波長化することができるが、閾値電流を増大させてしまう場合がある。

【0016】本発明の特に好ましい構造は、多重量子井戸構造において利得の得られる量子井戸層には不純物をドーピングしないで量子障壁層にのみ変調して不純物をドーピングした構造である。これにより、活性領域である量子井戸層の発光効率を低下させることなく、量子障壁層のバリアエネルギーを増大させることができ、より短波長でレーザ発振させることが期待できる。

【0017】例えば、フォトルミネセンスピーク波長とGaInP量子井戸層膜厚の関係を図2に示して説明する。有機金属気相成長法により成長させた従来のアンドープのGaInPバルク活性層ではピーク波長が665 nm (図の□印) であるのに対し、アンドープ多重量子井戸構造(膜厚3 nmのアンドープGaInP量子井戸層及び膜厚4 nmのアンドープ $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ 量子障壁層)では626 nm (図の○印) であり、同じ膜厚の多重量子井戸活性層で量子障壁層にp型不純物をドーピングしたときには620 nm (図の●印) であった。これらの値は、 $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ 量子障壁層が秩序配列構造である場合と無秩序配列構造である場合のピーク波長を、それぞれバンドギャップエネルギー570 nm、551 nmを用いて算出した計算値(図にそれぞれ点線と実線で示す)の膜厚3 nmの場合とよく一致した。

【0018】ここで $(\text{Al}_{0.5}\text{Ga}_{0.5})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ 量子障壁層に不純物をドーピングしたときのバリアエネルギーは、アンドープの場合におけるAl組成0.65の $(\text{Al}_{0.65}\text{Ga}_{0.35})_{0.51}\text{In}_{0.49}\text{P}$ 層のバンドギャップエネルギーと等価であった。このことは、量子障壁層に対する不純物変調ドーピングにより短波長レーザ発振が可能であることを示す。本発明では、量子障壁層に不純物を変調ドーピングしたときに630~635 nmのレーザ発振波長が得られ、アンドープのときよりも5~6 nm短い発振波長を実現できた。また、量子井戸層には不純物をドーピングしていないときは欠陥の増大や発光効率の低下をもたらすことなく、さらに不純物ドーピングした量子障壁層のキャリアにより利得が得られることになるので、微分利得の増大や低閾値動作が達成できた。

【0019】

【実施例】実施例1

本発明の一実施例の半導体レーザ素子の断面図を図1に示し、その製造方法を説明する。後に詳述する有機金属気相成長法により、n型GaAs基板1の上にn型GaAsバッファ層2(厚み0.5 μm 、電子濃度 $n_D = 1$

$\times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、n型 ($\text{Al}_{0.7} \text{Ga}_{0.3}$) $_{0.51} \text{In}_{0.49}$ P光導波層3 (厚み $1.5 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $n_D = 1 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$)、発光活性層4をエピタキシャル成長させる。発光活性層4は、次に示す構造である。すなわち、この層は、膜厚 3 nm のアンドープ $\text{Ga}_{0.51} \text{In}_{0.49}$ P量子井戸層10層とp型不純物Znをドーブ (正孔濃度 $n_A = 6 \sim 9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) した膜厚 4 nm の ($\text{Al}_{0.5} \text{Ga}_{0.5}$) $_{0.51} \text{In}_{0.49}$ P量子障壁層9層が交互に設けられ、その両側に膜厚 15 nm の ($\text{Al}_{0.5} \text{Ga}_{0.5}$) $_{0.51} \text{In}_{0.49}$ P光閉じ込め層が設けられた多重量子井戸構造である。

【0020】次に、p型 ($\text{Al}_{0.7} \text{Ga}_{0.3}$) $_{0.51} \text{In}_{0.49}$ P光導波層5 (厚み $1.2 \mu\text{m}$ 、正孔濃度 $n_A = 5 \sim 7 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)、p型 $\text{Ga}_{0.51} \text{In}_{0.49}$ Pバッファ層6 (厚み $0.05 \mu\text{m}$ 、正孔濃度 $n_A = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) を同様にエピタキシャル成長させる。

【0021】次に、ホトリソグラフィにより SiO_2 マスク (膜厚 $0.2 \mu\text{m}$ 、ストライプ幅 $5 \mu\text{m}$) を形成し、ケミカルエッチングにより光導波層5を $0.2 \mu\text{m}$ 残すところまでバッファ層6と光導波層5をエッチング除去してリッジストライプを形成する。

【0022】次に、 SiO_2 マスクを残したまま、n型 GaAs 電流狭窄兼光吸収層7 (厚さ $1.0 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $n_D = 2 \times 10^{18} \text{ cm}^{-3}$) を選択成長させる。さらに、p型 GaAs コンタクト層8 (厚み $1 \mu\text{m}$ 、電子濃度 $n_A = 5 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、上部の電子濃度が高い) を埋め込み成長させた後、p電極9及びn電極10を蒸着する。さらに、劈開スクライプして素子の形に切り出し、レーザ素子を得る。

【0023】有機金属気相成長法は、Alの原料としてトリメチルアルミニウム、Gaの原料としてトリメチルガリウム、Inの原料としてトリメチルインジウム、Pの原料としてホスフィンを用い、成長温度 700°C 、圧力 70 Torr で行った。量子障壁層にp型不純物であるZnを変調ドーブする原料としてはジメチル亜鉛を用いた。

【0024】上記多重量子井戸構造における量子障壁層のバンド端エネルギーは量子井戸層のそれより 0.42 eV 高い。本実施例のレーザ素子は、室温において閾値電流が $40 \sim 50 \text{ mA}$ で動作し、レーザ発振波長が $630 \sim 635 \text{ nm}$ であった。量子障壁層に不純物をドーピングしない素子では、室温における閾値電流は $60 \sim 70 \text{ mA}$ であり、レーザ発振波長は $636 \sim 640 \text{ nm}$ であったので、本発明により低閾値電流動作と発振波長の短波長化が実現できた。

【0025】実施例2

発光活性層4を構成する多重量子井戸構造の部分を次のように代えたほかは、実施例1と同様にしてレーザ素子を製造した。すなわち、多重量子井戸構造をp型不純物Znをドーブ (正孔濃度 $n_A = 6 \sim 9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$)

した膜厚 3 nm の $\text{Ga}_{0.51} \text{In}_{0.49}$ P量子井戸層10層と膜厚 4 nm のアンドープ ($\text{Al}_{0.5} \text{Ga}_{0.5}$) $_{0.51} \text{In}_{0.49}$ P量子障壁層9層とが交互に設けられ、その両側に膜厚 15 nm の ($\text{Al}_{0.5} \text{Ga}_{0.5}$) $_{0.51} \text{In}_{0.49}$ P光閉じ込め層が設けられた構造とした。

【0026】この多重量子井戸構造における量子障壁層のバンド端エネルギーは量子井戸層のそれより 0.33 eV 高い。本実施例のレーザ素子は、室温において閾値電流が $60 \sim 70 \text{ mA}$ で動作し、レーザ発振波長が $630 \sim 635 \text{ nm}$ であった。不純物をドーピングしない素子より、レーザ発振波長は約 $5 \sim 10 \text{ nm}$ 短波長化できた。

【0027】実施例3

発光活性層4を構成する多重量子井戸構造の部分を次のように代えたほかは、実施例1と同様にしてレーザ素子を製造した。すなわち、多重量子井戸構造を膜厚 3 nm の $\text{Ga}_{0.51} \text{In}_{0.49}$ P量子井戸層10層と膜厚 4 nm の ($\text{Al}_{0.5} \text{Ga}_{0.5}$) $_{0.51} \text{In}_{0.49}$ P量子障壁層9層とが交互に設けられ、その両側に膜厚 15 nm の ($\text{Al}_{0.5} \text{Ga}_{0.5}$) $_{0.51} \text{In}_{0.49}$ P光閉じ込め層が設けられた構造のすべての層にp型不純物Znをドーブ (正孔濃度 $n_A = 6 \sim 9 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$) した。

【0028】この多重量子井戸構造における量子障壁層のバンド端エネルギーは量子井戸層のそれより 0.36 eV 高い。本実施例のレーザ素子は、室温において閾値電流が $60 \sim 80 \text{ mA}$ で動作し、レーザ発振波長が $625 \sim 630 \text{ nm}$ であった。不純物をドーピングしない素子より、レーザ発振波長は約 $10 \sim 15 \text{ nm}$ 短波長化できた。

【0029】以上の実施例において、有機金属気相成長法により成長させた各層をそれぞれ分子線エピタキシー法により成長させて同様にレーザ素子を製造した。この場合、原料としてAl、Ga、Inと、Pの原料としてのホスフィンを用い、成長温度 550°C 、 10^{-5} Torr で行った。製造された各レーザ素子は、いずれも有機金属気相成長法により製造された各レーザ素子と同様な効果を示した。

【0030】また、以上の実施例は、発光活性層にドーブする不純物としてZnを用いたがこれに代えてMg、Beを用いても、またn型不純物のSi、Seを用いてもほぼ同様な結果が得られた。

【0031】

【発明の効果】本発明によれば、不純物を量子障壁層か量子井戸層に変調ドーブするかまたは多重量子井戸構造の全部にドーブすることによって、より短波長で発振するレーザ素子を実現できた。

【0032】特に不純物を量子障壁層に変調ドーブすることにより、量子障壁層のバリアエネルギーを大きくできるので、量子準位エネルギーが増大し、より短波長で発振するレーザ素子が実現できた。さらに、量子井戸層

には不純物をドーピングしないときは欠陥の増大や発光効率の低下を招くことなく、不純物ドーピングした量子障壁層におけるキャリアにより利得が得られるので、低閾値電流で動作するレーザ素子が得られた。

【0033】本発明のレーザ素子は、温度50℃、3mW定光出力動作の寿命試験において、約2000時間経過しても顕著な劣化が見られなかった。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の一実施例の半導体レーザ素子の断面構造図である。

【図2】フォトルミネセンスピーク波長と量子井戸層膜*

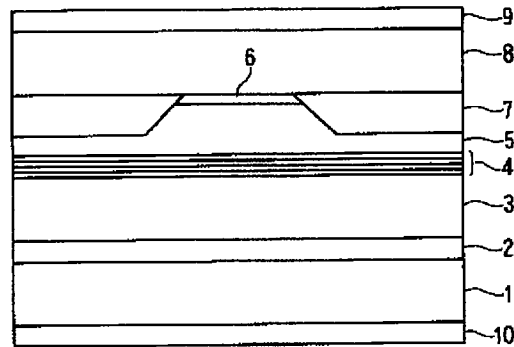
*厚の関係を示す図である。

【符号の説明】

- 1 n型GaAs基板
- 2、6 バッファ層
- 3 光導波層
- 4 発光活性層
- 5 光導波層
- 7 電流狭窄兼光吸収層
- 8 コンタクト層
- 9 p電極
- 10 n電極

【図1】

図1



- 1---n型GaAs基板
- 2,6---バッファ層
- 3---光導波層
- 4---発光活性層
- 5---光導波層
- 7---電流狭窄兼光吸収層
- 8---コンタクト層
- 9---p電極
- 10---n電極

【図2】

図 2

